

アンドロメダ大星雲 III

—アンドロメダ大星雲と伴銀河の潮汐相互作用—

澤 武 文*・佐 藤 昇*

アンドロメダ大星雲 (M 31, NGC 224) は肉眼でも見ることのできる銀河系外星雲(銀河)であり、我々の銀河系のすぐ隣りの渦状銀河である。アンドロメダ大星雲を小望遠鏡で見ると、そのすぐ近くに2つの小さな銀河を見ることができる(図1)。この2つの銀河はいずれもアンドロメダ大星雲のお供の銀河(伴銀河)であり、ちょうど地球と月との関係のように、アンドロメダ大星雲のまわりをまわっていると考えられている。アンドロメダ大星雲の南側に丸く見えるのが伴銀河 M32 (NGC 221) であり、北西側に楕円に見えるのが伴銀河 NGC 205 である。M 32 と NGC 205 はいずれも小さな楕円銀河である(表1参照)。

アンドロメダ大星雲は写真では直径約 30 kpc の円盤状銀河として観測されるが、中性水素ガスはその外側にも多量に分布しており、このガスは光の円盤の約2倍の

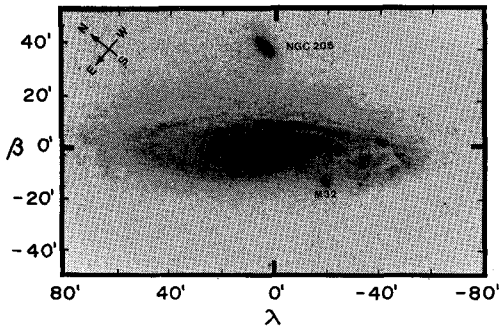


図1 アンドロメダ大星雲 (M 31) とその伴銀河 M 32 および NGC 205。M 31 の銀河円盤ははす向きで上側が手前である。(パロマーチャートより)。

直径 60 kpc の大円盤を形成している。しかもこのガス円盤はレコード盤のように平らではなく、周辺部で積分記号「」のようにたわんでいることが最近の研究で明らかになって来ている(本シリーズ I, 第74巻10号, II, 第75巻1号参照)。

アンドロメダ大星雲のガス円盤に見られるたわみは、銀河の現象としてはそれほどめずらしいものではない。我々の銀河系もたわんでいるし、多くの銀河が集まっている銀河団の中にはたわんでいる銀河が多数見られる(図2)。銀河円盤のたわみの原因については多くの説があり、それらについては佐々木氏の記事(77巻3号)に詳しく紹介されている。ただ、これらの多くのたわみの原因の中で、図2の示す例のように、近くの銀河の重力作用(潮汐作用)に起因する場合が多い。我々の銀河系のたわみも、銀河系の伴銀河である大・小2つのマゼラン星雲の潮汐作用によるものと考えられている。従ってアンドロメダ大星雲のガス円盤のたわみの原因も、伴銀河の潮汐作用と考えてみるのが自然であろう。今回はアンドロメダ大星雲のガス円盤のたわみと伴銀河の潮汐作用の関係について調べてみる。なお、ここで用いる2種類の座標系 (λ, β) および (x, y, z) について表2に説明を加えておく。

1. ガス円盤のたわみ

本シリーズIIで詳しく述べてあるが、中性水素ガスの出す 21 cm 輝線の観測のデータを解析することにより、ガス円盤のたわみの様子を調べることができる。図3は、このようにして求めたたわみの大きさを等高線で示

表1 アンドロメダ大星雲 (M 31) とその伴銀河 M 32 および NGC 205 の諸元

天 体		M 31	M 32	NGC 205
位 置	α (赤経) ₁₉₅₀	0 ^h 40 ^m 0	0 ^h 40 ^m 0	0 ^h 37 ^m 6
	δ (赤緯) ₁₉₅₀	+41°00'	+40°36'	+41°25'
	λ (経度)	0	-22'	3'
	β (緯度)	0	-28'	37'
距 離		690 kpc	680 kpc*	720 kpc**
視 線 速 度		-300 km s ⁻¹	-210 km s ⁻¹	-240 km s ⁻¹
全 質 量		3.16×10 ¹¹ M _⊙	3×10 ⁹ M _⊙	8×10 ⁹ M _⊙
ハッブルタイプ		Sb	E2	E5p

* バファイアドの軌道による。 ** 我々の軌道による。

* 愛知教育大 Takeyasu Sawa, Noboru Sato:
The Andromeda Galaxy III—Tidal Interaction with
its Companions—

表 2 座標について

天球に投影した座標 (λ, β) (図 1 参照)	
原 点	……M 31 の中心
λ (経度) 軸	……M 31 の長軸方向. 北東方向が正.
β (緯度) 軸	……M 31 の短軸方向. 北西方向が正.
単 位	……角度の分
空間座標 (x, y, z) (図 8 参照)	
原点	……M 31 の中心
x 軸	……銀河面内で長軸方向. 南西方向 (λ の負の方向) が正.
y 軸	……銀河面内で x 軸に垂直. 北西方向 (我々に近づく方向) が正.
z 軸	……銀河面に垂直. β の負の方向 (図 1 では下側) が正.

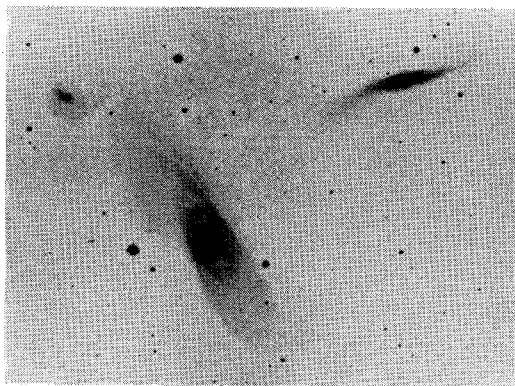


図 2 潮汐相互作用でたわんだ銀河 NGC 5566/69 (アーブによる).

したものである。図はガス円盤を真上方向から見た図(平面図)であり、ガス円盤は東西方向にたわんでいることがわかる。たわみは東側で特に大きく、円盤の外側ではたわみの量(平らな場合からの垂直方向のずれ)は 3.5kpc にもおよぶ。このガス円盤のたわみを伴銀河の潮汐力で作れるかどうかを調べるわけである。

2. 伴銀河 M 32 との潮汐作用

アンドロメダ大星雲の潮汐力により、伴銀河 M 32 の外側の星がはぎ取られていることは良く知られている。図 4 は M 32 の表面輝度を半径に対してプロットしたものである。図中の実線は潮汐作用が全くない場合の表面輝度の理論的分布を示す。半径が増すにつれ、観測値と理論値とのずれが大きくなっている。このずれは、アンドロメダ大星雲の潮汐力により、M 32 の外側の星がはぎ取られたため生じたものである。この表面輝度の分布から、M 32 は過去にアンドロメダ大星雲の中心に数 kpc まで近づいた時期があると考えられている。

このように、M 32 はアンドロメダ大星雲から大きな潮汐力を受けている。では、M 32 はアンドロメダ大星

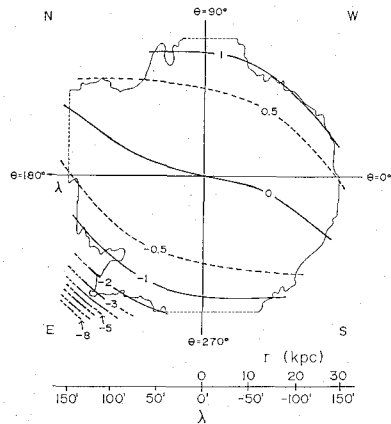


図 3 M 31 の HI ガス円盤のたわみの大きさ。たわみの大きさが等高線(単位 kpc)で示されている。ガス円盤の外側に相当する表面密度 10^{19} 個 cm^{-2} の等密度線が曲線で描いてある。

雲にどのような潮汐力をおよぼしているのであろうか。アンドロメダ大星雲が M 32 から受ける潮汐作用については、パイアドによって詳しく研究されている。彼は、アンドロメダ大星雲の中心付近のガスの運動の非対称性などは M 32 の潮汐作用によってよく説明できることを示している(図 5)。彼の求めた M 32 の軌道によると、M 32 はアンドロメダ大星雲の比較的内側(遠銀点距離約 17kpc, 図 8 参照)を運動していることになる。他方、図 3 に示したように、アンドロメダ大星雲のガス円盤のたわみは周辺部ほど大きい。このような周辺部のたわみの原因を、そのかなり内側を運動している M 32 の潮汐力によるものとは考えにくい。我々はこの周辺部のたわみの原因が、アンドロメダ大星雲の伴銀河の中で最大の質量を持つ NGC 205 の潮汐力によるのではないかと考え、それについて詳しく調べてみた。

3. NGC 205 の軌道

ところで、NGC 205 がアンドロメダ大星雲のまわり

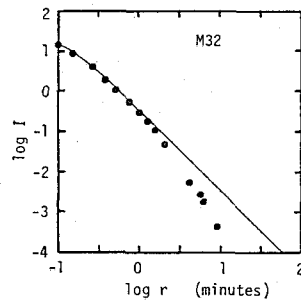


図 4 M 32 の表面輝度分布(キングによる)。縦軸は表面輝度の対数、横軸は半径(単位は角度の分)の対数である。実線は潮汐力を受けない場合の理論値を表わす。

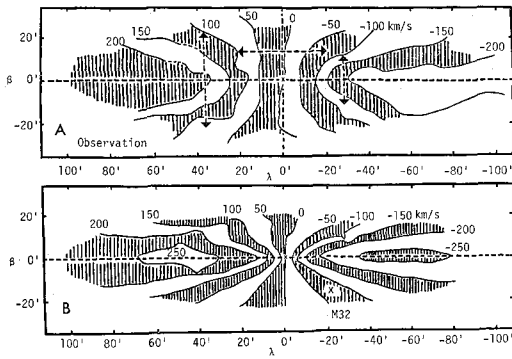


図 5 M 31 の中性水素ガスの等視線速度図。A は観測による図で、B は M 31 の潮汐作用から理論的に求められたものである。両者はよく一致することがわかる (パイアドによる)。

をどのような軌道で運動しているかは知られていない。軌道を決めるためには現在の位置と速度すべてが必要である。このうち観測から求めることのできるものは天球上の位置と視線方向の速度のみである。アンドロメダ大星雲に対する NGC 205 の奥ゆき D と天球上を動く速度 (V_λ , V_β) は全くわかっていない。そこで、これらの 3 つの未知量をパラメータとし、いろいろな値の組についてそれぞれ軌道を求める。質量無限小の試験粒子を円盤状に分布させ、アンドロメダ大星雲の回転速度で円運動させたものをアンドロメダ大星雲のガス円盤とし、それぞれの軌道で NGC 205 の潮汐作用をコンピューターによりシミュレーションし、観測されるガス円盤のたわみを再現する軌道をさがすのである。この時、次の仮定をおき問題を単純化した。

- (1) NGC 205 はアンドロメダ大星雲と二体運動をし、その軌道は楕円である。
- (2) NGC 205 の近銀点距離は 20kpc 以上であり、遠銀点距離は 150kpc 以下である。
- (3) NGC 205 とアンドロメダ大星雲の現在の距離の差は 100kpc 以下である。
- (4) アンドロメダ大星雲と NGC 205 とはそれぞれ球対称の重力場を持つ。
- (5) 潮汐力は、NGC 205 が軌道を 1 周する間だけ作用する。

図 6 は $D=30$ kpc (NGC 205 がアンドロメダ大星雲より 30kpc 遠方にある) におけるいろいろな (V_λ , V_β) の組に対するガス円盤のたわみの再現性を示したものである。白丸はたわみをよく再現できたもの、黒丸は再現できなかったものである。上記の条件 (2) および (3) を満たすいろいろな D , V_λ , V_β の組合せの中で、たわみを再現できるものは $26 \leq D \leq 32$ kpc の範囲で、速度は図 6 に示す白丸の領域付近に限られることが得られた。

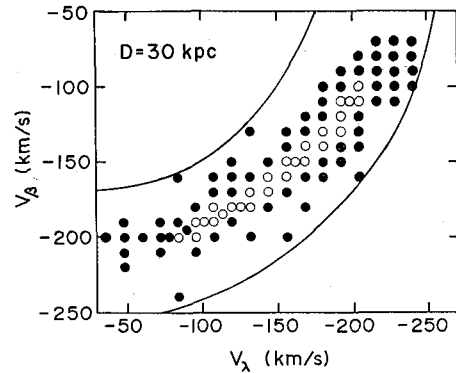


図 6 NGC 205 のいろいろな軌道でのたわみの再現性。白丸は再現できたもの、黒丸は再現できなかったもの。2 本の曲線は条件 (2) によるものである。

しかし、この範囲もまだかなり広く、これだけでは NGC 205 の軌道は十分には決まらない。ところで、NGC 205 もアンドロメダ大星雲から潮汐力を受けている。実際、NGC 205 の長軸の両端から、アンドロメダ大星雲の短軸方向に噴出物らしきものが対称に出ていることが写真観測により確認されている (図 7)。これがアンドロメダ大星雲の潮汐作用の結果であるとすれば、我々の計算でも NGC 205 はアンドロメダ大星雲の潮汐力によってこの方向に乱されなければならない。これらの条件から、NGC 205 の取り得る軌道はかなり限られてしまう。図 8 は、我々が選んだ最適と思われる NGC 205 の軌道 ($D=30$ kpc, $V_\lambda = -104$ km \cdot s $^{-1}$, $V_\beta = -180$ km \cdot s $^{-1}$) を示したものである。図にはパイアドによって得られた M 32 の軌道も示してある。NGC 205 の軌道要素と周期を表 3 に示す。

4. NGC 205 の潮汐作用

では、アンドロメダ大星雲のガス円盤は NGC 205 の潮汐作用によってどのようにたわんでゆくのであろうか。図 9 その 1, その 2 (その 1=表紙) は NGC 205 がアンドロメダ大星雲を 1 周する間のアンドロメダ大星

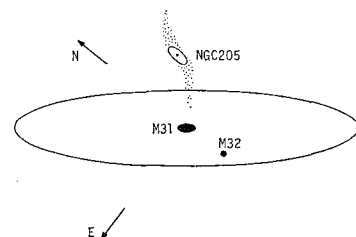


図 7 NGC 205 の両端から出ている噴出物らしきもののスケッチ。大きな楕円は直径 30 kpc の光の円盤である (ツビッキーによる)。

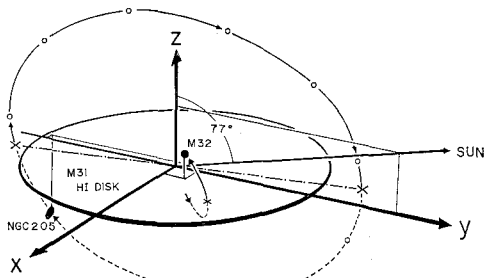


図 8 NGC 205 の軌道。位置は 10 分の 1 周期ごとに示されている。軌道の実線は $z > 0$ を、点線は $z < 0$ を表わし、 \times は銀河面との交点を表わす。M 31 を表わす円盤の直径は 60 kpc であり、図 1 とは上下が逆になっている。パファイアドによる M 32 の軌道も同時に示す。

表 3 NGC 205 の軌道要素と周期

軌道長半径	35.2 kpc
離心率	0.127
軌道傾斜角	65.2°
昇交点離角	282.6° (x軸=0°)
近銀点引数	309.5°
近銀点通過時刻	-0.04 (周期=1)
周期	1.1×10^9 年

雲のガス円盤の変化の様子を、NGC 205 の周期の 10 分の 1 ごとに示したものである。左から、平面図・立面図・側面図および天球への投影図である。z 方向は 5 倍に拡大しており、白丸は NGC 205 の位置を示す。

初期 $t=0$ においては、NGC 205 は現在と同じ位置にあり、ガス円盤は平らで円運動している。 $t=0.1$ では NGC 205 はガス円盤の近くを下から上に通過した直後である。ガス円盤は、NGC 205 の通過までは下方に引き寄せられるため、下方にたわんでいる。NGC 205 が銀河面を通過すると、こんどは上方に引かれ、粒子の分布も複雑になってくる。しかもガス円盤の乱れは銀河回転により回転してゆく。銀河回転は内側のほうが速く回転するため、乱された部分はしだいに巻きこまれ、腕状のものを形成してゆく。

$t=0.6$ は 2 回目の銀河面通過の直前である。その前後でガス円盤は再び大きく乱される。その後、一方の乱れの部分がしだいに大きな渦状腕を形成してゆく。 $t=1.0$ は現在を表わす。この時、NGC 205 は 3 回目の銀河面通過直前である。ガス円盤は再度下方へ引き寄せられ、現在のガス円盤のたわみを形成する。

図 10a は観測されるガス円盤の表面密度の分布と図 3 をもとにして作った立面図および側面図である。図 10b は $t=1.0$ の最終結果を示す。両者の比較から、 $x = -30$ kpc, $y = -30$ kpc 付近に見られるたわみの最も大

きな部分の位置と形、立面図および側面図におけるガス円盤の全体的な形とたわみの傾向、正面図におけるガスの分布の非対称性、とりわけ南西方向の大きな中性水素ガスの渦状腕など、全体的な分布とたわみの傾向が非常によく一致していることがわかる。

次にガスの運動について調べてみる。図 11 はクラーム等による中性水素ガスの緯度 - 視線速度図 (β - V 図) に試験粒子の最終位置を重ねたものである。等高線は電波の強さに対して引かれたものであり、黒丸は粒子の位置を表わす。破線は円運動をしている場合の平らな銀河円盤に対応するもので、太い実線は初期 ($t=0$) における粒子の位置を示している。等高線の尾根に当たる部分は円運動する場合の位置からずれており、ガスは円運動からずれた運動をしていることがわかる。経度 $\lambda=90'$, $72'$, $54'$ の図においては粒子の分布は等高線の尾根によく一致している。 $\lambda=0'$ の図はアンドロメダ大星雲の短軸上における β - V 図である。電波強度の分布は上下で速度の非対称を示している。粒子の分布はこの非対称もよく再現している。

図 12a はニュートンとエマーソンによって得られたアンドロメダ大星雲の南西側の中性水素ガスの等視線速度図である。長軸 ($\beta=0$) に対して速度の分布が非対称であることがわかる。我々のモデルによる粒子の運動から等視線速度図を作ると図 12b となる。速度の大きさそのものには多少の差違が見られるが、非対称性の傾向はよく一致している。速度のくい違いは主として我々の用いたアンドロメダ大星雲の回転速度が、周辺部で実際より少し小さくなっているためである。

5. NGC 205 への影響

最後に、この軌道で NGC 205 がアンドロメダ大星雲からどのような潮汐力を受けるかを調べてみる。今度は 205 に試験粒子を球対称に置き、それぞれ勝手な方向に円運動させ、アンドロメダ大星雲による潮汐作用を調べるわけである。図 13 は、NGC 205 の粒子を中心から 5 kpc まで分布させた時の最終結果である。NGC 205 はアンドロメダ大星雲によってこわされてしまうようなことはなく、粒子のごく一部がアンドロメダ大星雲の短軸方向に乱されるだけである。この乱れの方向は図 7 で示した観測結果と一致するように思われる。しかし、NGC 205 の実際の長半径は 1 kpc 程度であり、モデルの半径よりずっと小さい。NGC 205 の粒子を中心から 3 kpc まで分布させた場合、この軌道では粒子は全く乱されない。このことは、NGC 205 の表面輝度の分布からは潮汐力によるはぎ取りがほとんど見られないという観測 (図 14) と矛盾しない。従って我々の結果からは、NGC 205 の長軸方向からの噴出物らしきものはアンドロメダ大星

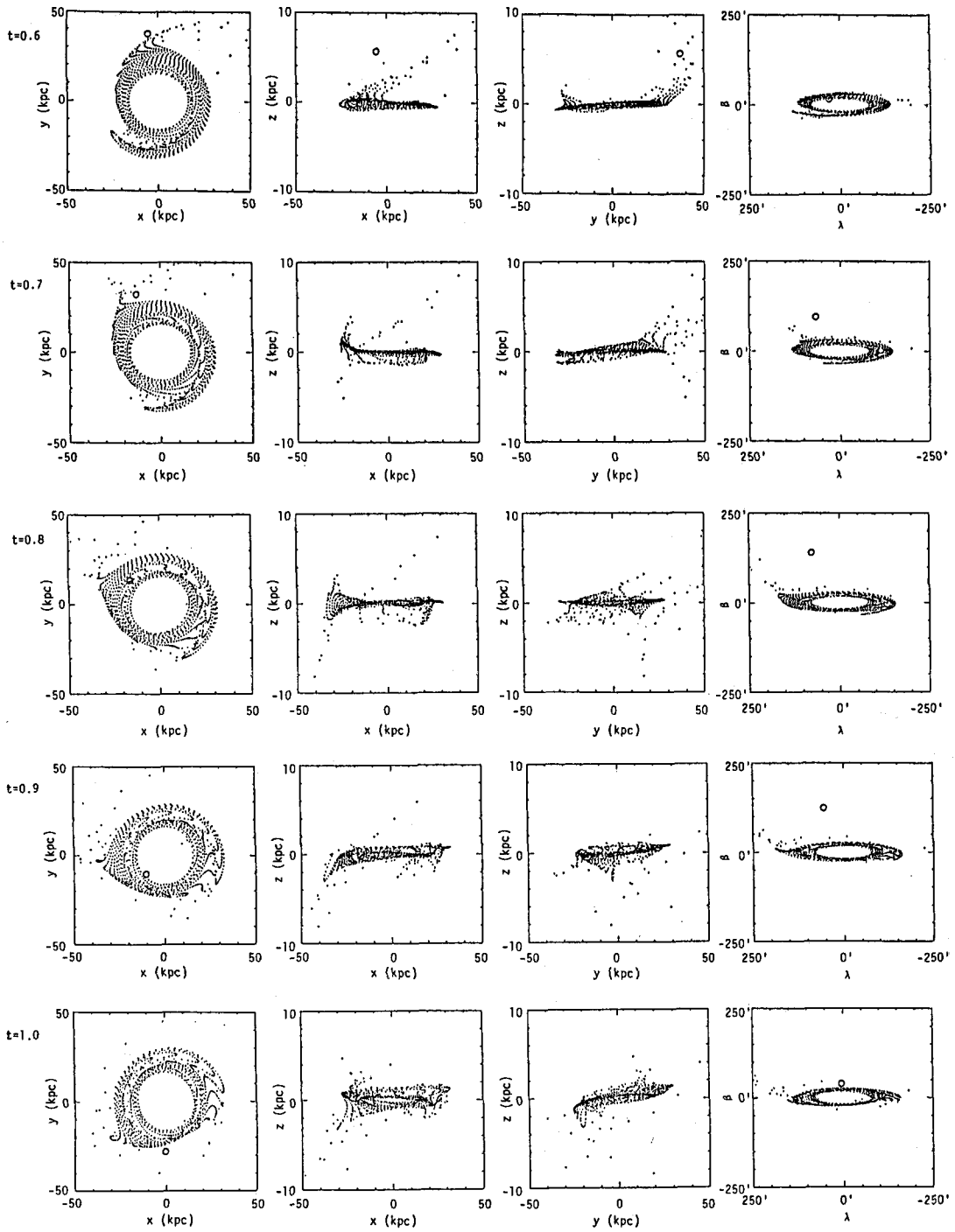


図 9 NGC 205 の潮汐作用による M 31 のガス円盤の時間変化. 時間の単位は NGC 205 の周期である. 左から平面図・立面図・側面図・天球への投影図を表わし, 白丸は NGC 205 の位置を表わす.

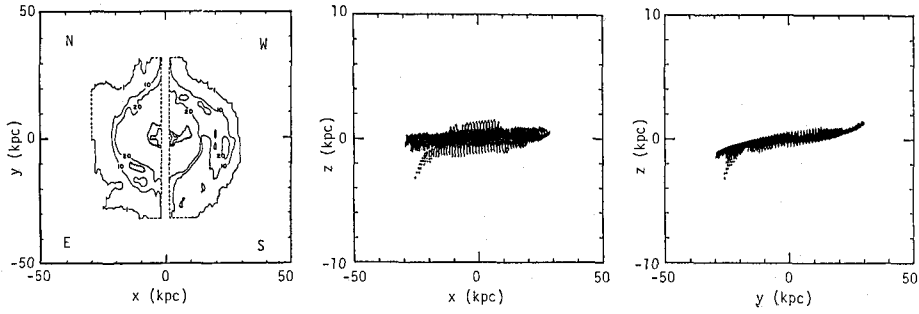


図 10a 観測によるガスの分布とガス円盤のたわみ。平面図は表面密度分布を示し、単位は 10^{19} 個 cm^{-2} である。立面図および側面図は図 3 をもとにして作った。

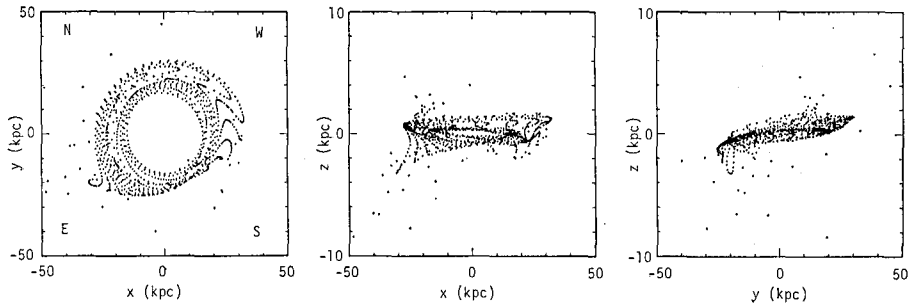


図 10b モデルによる最終結果。図 a と非常によい一致を示すことが明らかであろう。

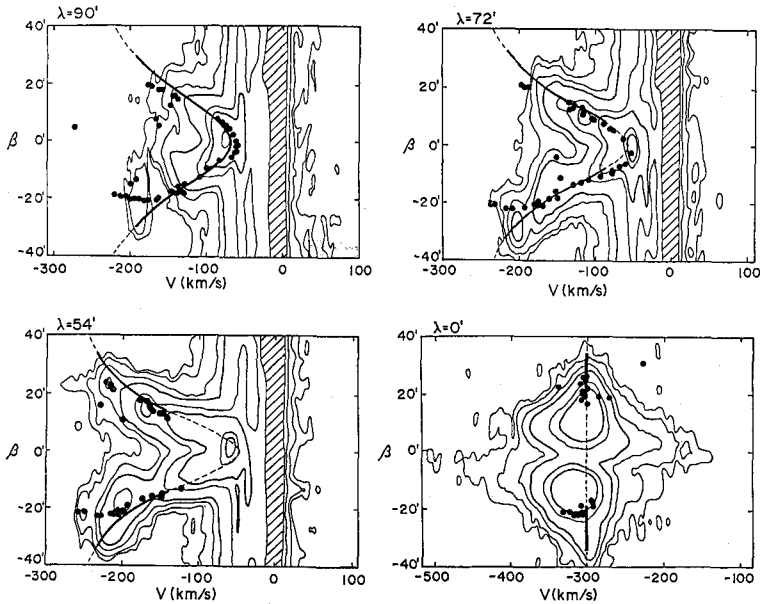


図 11 M 31 の北東側および短軸上での β - V 図 (クラーム等による) に粒子を重ねたもの。円運動 (点線および太い実線) からのずれの傾向がよく一致することがわかる。

雲の潮汐力による結果であるという結論は出せない。しかし、我々のモデルでは NGC 205 を球対称銀河として取り扱っている。NGC 205 は実際に楕円状の銀河であるから、この形状に噴出物らしきものの成因が隠され

ているかもしれない。これらについては今後の研究にゆだねたい。

我々のモデルは非常に単純化したものであるにもかかわらず、アンドロメダ大星雲のガス円盤の全体的なたわ

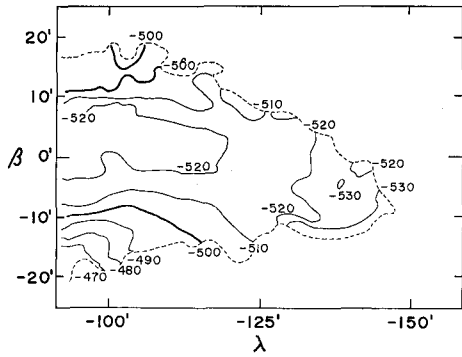


図 12a M 31 の南西側のガスの等視線速度図。長軸に対する非対称性が明らかである。(ニュートンとエマーソンによる)

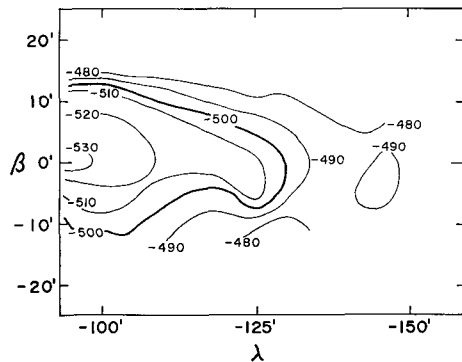


図 12b 我々のモデルによる等視線速度図。速度の大きさには少し差が見られるが、非対称性の傾向はよく一致する。

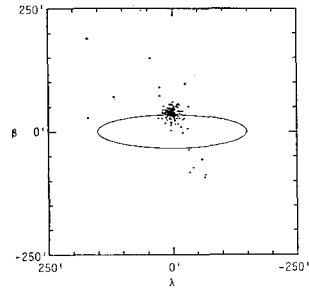


図 13 M 31 の潮汐作用による NGC 205 への影響。図は NGC 205 の半径を 5 kpc にとった場合で、M 31 の短軸方向に粒子は乱されている。

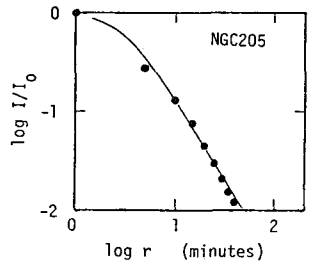


図 14 NGC 205 の表面輝度分布。図 4 と同じ図で実線は潮汐力を受けない場合の理論値である。(ホッジによる)

みの構造・ガスの分布および運動について、定量的には不十分な点はいくつかあるが、観測結果と非常に良い一致を示す。このことはアンドロメダ大星雲と NGC 205 は大きな潮汐力をおよぼし合っており、アンドロメダ大星雲のガス円盤のたわみは NGC 205 の潮汐力による可能性がきわめて高いと言えよう。

雑 報

Takamizawa 彗星 (1984j)

長野県南佐久郡佐久町の高見沢今朝雄氏は、1984年7月30日12時40分(世界時)に、やぎ座の赤経=21^h12^m15^s 赤緯=-18°40' (1950.0)の位置に光度10等級の彗星状天体を発見し、南へ移動するのを確認してから、東京天文台へ連絡して来られた。東京天文台では、Takamizawa 彗星として IAU 天文電報中央局へ連絡したところ、他に発見者はなく、Takamizawa 彗星 (1984j) として返電があった。IAU からのその後の連絡によると、近日点は1984年5月に通過しているが、周期彗星の可能性もあるという。

高見沢氏は12cm双眼鏡に20倍を使用しての発見であり、以前にも新天体に関する情報を東京天文台に寄せられたことがあって、掃索回数205回、270時間での成果である、との由。

ちなみに1983年の IARS-Araki-Alcock 彗星 (1983d) と Sugano-Saigusa-Fujikawa (1983e) の発見に引き続き、日本人として42個目の彗星発見である。

(香西洋樹)

小狐座1984年新星

静岡県磐田郡竜洋町の和久田 実氏は、1984年7月27日17時02分から17時07分(世界時)の間に撮影したフィルム上に、光度約9等の恒星状の天体の像を発見して、東京天文台に連絡して来られた。この天体像は、同氏が1984年7月24日16時15分から16時20分(世界時)の間に撮影したフィルム上には検出されなかった。和久田氏は、さらに7月28日17時24分から17時28分(世界時)に同じ星野を撮影して、天体を確認した。東京天文台では、新星状天体として、IAU 天文電報中央局へ連絡した。IAU 天文電報中央局からは、和久田氏が発見者であること、小狐座1984年新星と呼ぶことが、折り返し連絡されて来た。古畑正秋氏の写真フ